

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-006934

(43)Date of publication of application : 12.01.1999

(51)Int.Cl. G02B 6/16

G02B 6/10

(21)Application number : 09-160339 (71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO
LTD:THE

(22)Date of filing : 18.06.1997 (72)Inventor : KAMIYA TAMOTSU
SUGIZAKI RYUICHI
AKASAKA YOICHI

(54) OPTICAL FIBER TYPE DISPERSION CORRECTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To permit a distant, high speed, and wide-band optical transmission by winding inside a dispersion correcting optical fiber having a strong bending transmission loss characteristic, and sequentially winding thereon a dispersion correcting optical fiber to become weaker in the propagation loss characteristic for modularizing.

SOLUTION: A dispersion correcting optical fiber is inserted in an optical fiber line so that a dispersion becomes zero in a 1.3 μ m band, and a total sum of dispersions becomes approximately zero in a 1.55 μ m band when connected with a single mode optical fiber having a positive dispersion in a 1.55 μ m band. Here, a plurality of dispersion correcting optical fibers of which dispersion values are negative and dependent on bending radius are wound from inside to outside so as to sequentially have a weaker transmission loss characteristic due to the bending; Further, a plurality of the dispersion correcting optical fibers are wound from inside to outside so as to sequentially have a larger FOM value. Moreover, the outermost dispersion correcting optical fiber has a negative dispersion gradient and its dispersion gradient to

dispersion ratio is approximately the same as that of a single mode optical fiber.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 12.10.2001

[Date of sending the examiner's decision
of rejection]

[Kind of final disposal of application other
than the examiner's decision of rejection
or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3448461

[Date of registration] 04.07.2003

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-6934

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月12日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 2 B 6/16
6/10

G 0 2 B 6/16
6/10

C

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平9-160339

(22) 出願日 平成9年(1997) 6月18日

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 神谷 保

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 杉崎 隆一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 赤坂 洋一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

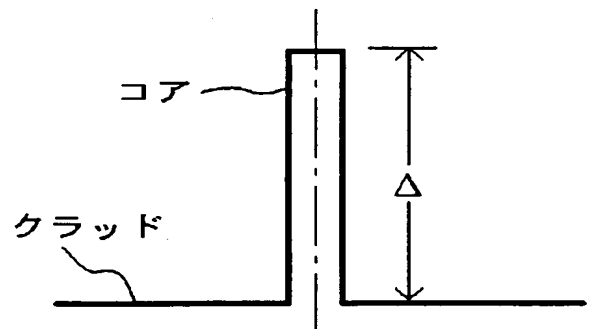
河電気工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 光ファイバ型分散補償器

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、1.3 μ m帯で分散が零の単一モード光ファイバの1.55 μ m帯での分散を補償する光ファイバ型分散補償器を提供することを課題とする。

【解決手段】 本発明は、1.3 μ m帯で分散が零になり、1.55 μ m帯において正の分散を保有する単一モード光ファイバに接続して1.55 μ m帯における分散の総和がほぼ零となるように光ファイバ線路に挿入される分散補償器において、該分散補償器は分散値が負の複数の分散補償用光ファイバを直接直列に接続して構成したことを特徴とする光ファイバ型分散補償器である。本発明の光ファイバ型分散補償器は特性的には従来の分散補償器と遜色なく、歩留りよく製造できるので安価に提供しうる効果がある。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 1. $3\mu\text{m}$ 帯で分散が零になり、1. $55\mu\text{m}$ 帯において正の分散を保有する単一モード光ファイバに接続して1. $55\mu\text{m}$ 帯における分散の総和がほぼ零となるように光ファイバ線路に挿入される分散補償器において、該分散補償器は分散値が負で伝送損失特性が曲げ半径に依存する複数の分散補償用光ファイバを内側から外側へと順次曲げによる伝送損失特性が弱くなるように巻回して構成したことを特徴とする光ファイバ型分散補償器。

【請求項 2】 前記分散補償器は、複数の分散補償用光ファイバを内側から外側へと順次 FOM 値が大きくなるように巻回して構成したことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ型分散補償器。

【請求項 3】 前記分散補償器を構成する最外周の分散補償用光ファイバは分散勾配が負でかつ分散勾配—分散比が単一モード光ファイバの分散勾配—分散比にほぼ等しいかそれより大きいことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光ファイバ型分散補償器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、1. $3\mu\text{m}$ 帯で分散が零の単一モード光ファイバを伝送路とし、エルビウム (Er) ドープファイバアンプと組み合わせて、1. $55\mu\text{m}$ 帯で伝送を行い、該伝送路の伝送容量を増加させるシステムの分散を補償する光ファイバ型分散補償器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】長距離光伝送システムの高速化、広帯域化に当たっては光ファイバの損失特性と分散特性の 2 つが大きな障害となる。これらの障害のうち、分散特性については、モード分散を除去した単一モード型光ファイバが開発され、採用されている。この単一モード型光ファイバとしてはコアにゲルマニウムを添加し、ステップ型の屈折率分布を持つ石英系光ファイバが一般的である。この光ファイバは分散が1. $3\mu\text{m}$ 帯で零となり、1. $55\mu\text{m}$ 近辺の波長で損失が最も少なくなる。

【0003】一方、光信号を伝送するシステムに組み込む増幅として、1. $55\mu\text{m}$ 近辺の波長で動作する、コアにエルビウム (Er) を添加した光ファイバを用いた光増幅器 (エルビウム (Er) ドープファイバアンプ) が開発され、光伝送の増幅が極めて容易になり、システムの容量増加が経済的に実現できるようになってきている。したがって、1. $55\mu\text{m}$ 帯で光信号を伝送することにより損失の問題は解決される。前述したように単一モード型光ファイバの分散は1. $3\mu\text{m}$ 帯で零となり1. $55\mu\text{m}$ 帯では分散が発生する。このため、1. $55\mu\text{m}$ 帯における分散特性を改善すれば長距離、高速、広帯域な伝送が可能となるため、分散特性の改善が種々なされている。分散特性は加成性が成り立つ。したがっ

て、伝送路用の単一モード型光ファイバと逆の符号の光ファイバを単一モード型光ファイバに接続することにより分散特性を改善することができ、かかる方法が簡便で信頼性が高く、注目されている。しかもこの分散補償方法は、分散を補償する分散補償用光ファイバを製造する製造技術の応用で解決できることから実用性が極めて高い方法である。

【0004】分散補償用光ファイバは一つの部品、すなわち光ファイバ型分散補償器として取り扱われる。したがって、分散補償用光ファイバとしては挿入する伝送路の損失等の特性劣化を起こさず、かつ、中継器に収納して使用するために場所を取らないよう可能な限り小型化 (短尺化) にすることが要求され、これらの条件を満足するためには、分散の絶対値が大きいたことが望まれる。光ファイバの分散値は材料分散と構造分散の値の和になる。このうち、材料分散は正の値で屈折率分布への依存性が小さいため、分散補償用光ファイバとしては構造分散が負に大きくなるような屈折率分布を選ぶことで所望の分散特性を有する分散補償用光ファイバを得ることができる。このような屈折率分布を有する光ファイバとして、例えば特開平 6 - 1 1 6 2 0 号公報に一つの例が記載されているように、幾つかの屈折率分布が提案されている。光ファイバ型分散補償器としては、このような光ファイバを小径にコイル状に、または小型のリールに巻いて保持用の筐体に収納し、分散補償用光ファイバの両端に単一モード型光ファイバと低損失で接続するピグテール光ファイバを取り付けてモジュール化している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】分散補償用光ファイバの性能指数の一つとして FOM 値 (Figure of merit : 伝送波長における分散値を伝送波長における損失値で割った値、 ps/nm/dB) が用いられている。この FOM 値は所定の分散量を補償する際、どの位のパワーペナルティがあるかを示すもので、FOM 値が大きい程損失が小さく有利である。言い換えると、FOM 値が大きいと補償する分散量に対する入射パワーが小さくて済み有利である。一方、伝送システムのいっそうの高速化を考慮すると分散特性は、分散の絶対値ばかりでなく、分散勾配も補償することが望ましい。この目的のためには、「伝送波長における分散勾配を伝送波長における分散値で割った値」 (以下、「分散勾配—分散比」という) が伝送路を構成する単一モードの光ファイバの分散勾配—分散比とほぼ等しいことが要求される。分散値のみでなく、分散勾配も補償できる分散平坦補償タイプの分散補償用光ファイバは光ファイバの屈折率分布を最適化することで得られ、この構造は特開平 6 - 1 1 6 2 0 号公報、特開平 7 - 7 9 7 1 9 号公報、特開平 7 - 2 6 1 0 4 8 号公報に記載されている。

【0006】

【課題を解決するための課題】伝送システムにおいて F

OM値は分散特性の評価基準のみでなく、もう一つの重要な評価特性を図る指標となる。FOM値は分散の絶対値が大きく、損失値が小さいほど良好となる。そのためには分散の絶対値を大きく取り、かつ損失を小さくできれば良い。一方、分散補償用光ファイバは伝送機器に収納されて使用されるためコンパクトな形状に加工することが要望され、小型のリールに巻いてモジュール化される。しかしながら、光ファイバの伝送損失特性は比較的曲げに弱く、巻き加工により伝送損失が増えるとFOM値が低下する結果となる。光ファイバの曲げによる伝送損失の変化は光ファイバの構造に依存し、この伝送損失増と分散特性とが相関するので分散特性を優先させると曲げに強い構造の分散補償用光ファイバを使用することができなくなる。

【0007】負の分散特性をもつ光ファイバとしては、
①分散シフトファイバの零分散波長をさらに長波長側にシフトさせるもの、

②高比屈折率差を有するもの、

③W型の屈折率分布のもの、

④セグメント型の屈折率分布のもの

等が知られている。①と②の分散補償用光ファイバはマッチド型の屈折率分布（以下、マッチド型という）であり、単一モード光ファイバと同様に正の分散勾配を有しており、比屈折率差を大きくすると分散の絶対値は増加し、それに連れてFOM値も大きくなる。しかしながら、比屈折率差を大きくするためにゲルマニウムの添加量を増加すると、ある範囲を超えたところで損失の急激な劣化が始まり、FOM値は分散勾配が増加傾向にあるにも関わらず低下する。一方、曲げに対する伝送損失値の劣化に対しては強くなる。したがって、この①と②のマッチド型の分散補償用光ファイバは曲げには強いが分散の絶対値を大きくすることができず、FOM値を大きくすることが困難である。③と④の分散補償用光ファイバは屈折率の高い層と屈折率が中くらいの層との間に屈折率の低いディプレスト層を有する構造であるため負の分散勾配を有しており、前述のマッチド型の屈折率分布に比べて損失の安定度に劣る欠点がある。W型の屈折率分布のようにディプレスト層を持つ分散補償用光ファイバは構造分散の特徴から分散の絶対値（負の分散値）を大きくできるが、分散の絶対値を大きくする条件に近づけると伝搬する光が大きくクラッドに浸みだすようになり、長波長側の曲げ損失エッジが、使用波長に近い構造で曲げにより伝送損失増が生じる。このように、③と④のディプレスト層を有する構造の分散補償用光ファイバは強い曲げが加わらない状態では伝送損失は小さくFOM値は大きい、モジュール化するためにリールに巻くと伝送損失値が悪化し、FOM値が不足する問題が生じる。このため、これらの分散補償用光ファイバで極めて大きな分散特性と安定した伝送損失特性の両方を満足し、モジュール化後に良好なFOM値を与える分散補償

用光ファイバを製造することは困難である。この対策として巻き径を大きくすることが考えられるが、容積が大きくなり、収納が困難となる問題がある。

【0008】分散勾配を補償するためにはモジュール化前のFOM値が問題となる。すなわち、分散補償用光ファイバに負の分散勾配を付与する場合、勾配が急峻となる波長が分散の最大値を与える波長とは異なるため、分散勾配を十分に補償しようとするFOM値が不足する結果となる。屈折率分布を調節して各々のシステムに対応した分散勾配補償特性とFOM値の両方を満足する分散補償用光ファイバを作成することも考えられるが、用途に併せてその都度最適な分散補償用光ファイバを設計、製造することは実際上不可能である。また、モジュール化に際しても伝送損失特性の劣化が問題となる。特に負の分散勾配を得るにはコアの周辺にディプレスト層を持つ構造とする必要があり、このディプレスト層をもつ構造の分散補償用光ファイバは前述したように曲げによる伝送損失増が生じて特性が劣化する。したがって、モジュール化するにあたり、小型のコイルか、または胴径の小さいリールに巻くことができず、モジュールを小さくできない欠点もあった。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、負の分散を示し、FOM値が大きい特性を有する光ファイバ型分散補償器を安価に提供するもので、請求項1の発明は、1. 3 μm 帯で分散が零になり、1. 55 μm 帯において正の分散を保有する単一モード光ファイバに接続して1. 55 μm 帯における分散の総和がほぼ零となるように光ファイバ線路に挿入される分散補償器において、該分散補償器は分散値が負で伝送損失特性が曲げ半径に依存する複数の分散補償用光ファイバを内側から外側へと順次曲げによる伝送損失特性が弱くなるように巻回して構成したことを特徴とする光ファイバ型分散補償器である。

【0010】請求項2の発明は、複数の分散補償用光ファイバを内側から外側へと順次FOM値が大きくなるように巻回して構成したことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ型分散補償器である。

【0011】請求項3の発明は、分散補償器を構成する最外周の分散補償用光ファイバは分散勾配が負でかつ分散勾配一分散比、すなわち伝送波長における分散勾配を伝送波長における分散値で割った値が単一モード光ファイバの分散勾配一分散比にほぼ等しいかそれより大きいことを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ型分散補償器である。

【0012】上述した発明においては、1つのリール（ボビン）上に、曲げによる伝送損失特性が強い分散補償用光ファイバを内側に巻き、その上に順次曲げによる伝送損失特性が弱くなるように分散補償用光ファイバを巻いてモジュール化しても良いし、胴径の異なるリールを複数個用意して、曲げによる伝送損失特性が強い分散

5

補償用光ファイバを胴径の小さいリールに巻き曲げによる伝送損失特性が弱い分散補償用光ファイバを胴径の大きいリールに巻いてモジュール化しても良い。

【0013】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施態様を説明する。本実施の形態において、分散を補償することを目的としてモジュール化される分散補償用光ファイバの全長に占める割合から、各分散補償用光ファイバの長さを求める方法は以下の通りである。まず、モジュール化され*

$$1/FOMr = (1-r)/FOM1 + r/FOM2 \quad \dots (1)$$

次いでモジュール化するMF 1の長さを L_1 (km)、MF 2の長さを L_2 (km) とすると、

$$r = D_2 L_2 / D_1 \quad \dots (2)$$

であるから、(1)、(2)式から

$$L_1 = (D_1 / D_2) \times (1-r) \quad \dots (3)$$

$$L_2 = (D_1 / D_2) \times r \quad \dots (4)$$

が得られる。よって、各必要ファイバ長は(3)、

(4)式により求めることができる。

【0014】また、本実施の形態において、分散を補償した上でさらに分散勾配も補償することを目的としてモジュール化される場合には上記(3)、(4)式で求められた長さの各分散補償用光ファイバが所定の分散勾配を有することが必要である。この分散勾配を求める方法は以下の通りである。まず、モジュール化された分散補償用光ファイバに求められる総補償分散勾配量を S ※

$$D_s \times L_r + D_1 = 0 \quad \dots (5)$$

を満足すれば良い。ここで、ルートの分散勾配 S_r ($p s / n m^2 / k m$) は

$$S_r = S_s + (S_1 \times L_1 + S_2 \times L_2) / L_r \quad \dots (6)$$

である。 L_1 及び L_2 は上記(3)、(4)式により求められているので、 S_r が0 ($p s / n m$) となるように S_1 及び S_2 を求めればよい。

【0015】

【実施例】

(実施例1) マッチド型の分散補償用光ファイバを組み合わせた実施例に付き説明する。図1に示すようなマッチド型(単純ステップ型)の分散補償用光ファイバの場合は、コアとクラッドとの比屈折率差(以下、 Δ という)が大きいほど、負の大きな分散値を有する、すなわち負の分散を有し、かつ分散の絶対値が大きい分散補償用光ファイバとすることができる。しかしながら、一般に石英系光ファイバでは Δ を大きくするためにゲルマニウムを大量に添加する必要があるが、ゲルマニウムを大量に添加するとレーリ散乱等により伝送損失値が悪化する。一方、 Δ が小さい場合は分散の絶対値を大きくすることは困難であるが、伝送損失は小さい。また、伝送損失が小さければ、分散の絶対値が小さくてもFOM値は大きくなる。マッチド型の分散補償用光ファイバは様々な屈折率分布の中でも曲げに対して強く、またマッチド

6

*た分散補償用光ファイバに求められる総補償分散量を D_r ($p s / n m$)、FOM値を FOM_r ($p s / n m / d B$) とし、一方の分散補償用光ファイバMF 1の分散値を D_1 ($p s / n m$)、FOM値を FOM_1 ($p s / n m / d B$)、他方の分散補償用光ファイバMF 2の分散値を D_2 ($p s / n m$)、FOM値を FOM_2 ($p s / n m / d B$) とする。ここで、 D_r ($p s / n m$) に占める D_2 ($p s / n m$) の割合を r とすると

※ r ($p s / n m^2 / k m$)、MF 1の分散勾配を S

1 ($p s / n m^2 / k m$)、MF 2の分散勾配を S

2 ($p s / n m^2 / k m$)、補償対象の単一モード光フ

ァイバの分散値を D_s ($p s / n m$)、分散勾配を S_s

20 ($p s / n m^2 / k m$)、分散補償器を挿入後の全ルートの長さを L_r (km)、分散勾配を S_r ($p s / n m^2 / k m$) とすると、分散補償器挿入後の全ルートの残留分散値を0 ($p s / n m$) とするには

$$\dots (5)$$

$s / n m^2 / k m$) は

$$\dots (6)$$

型の屈折率分布の中では Δ が大きく、伝送波長がカットオフ波長に近いほうが曲げに大して強くなる。したがって、この場合には Δ が小さいため曲げに弱くなっており、モジュール化した際に曲げによる伝送損失増が生じる。そこで、 Δ の大きい(=曲げに強い)分散補償用光ファイバを内側に、 Δ の小さい(=曲げに弱い)分散補償用光ファイバを外側に配置してモジュール化することによりFOM値の劣化を防ぐことができる。

【0016】具体例を以下に示す。マッチド型の分散補償用光ファイバを2本組み合わせた場合を例にとりて説明する。ここで用いた2本のマッチド型の分散補償用光ファイバは、コアがゲルマニウムを添加した石英ガラス($SiO_2 - GeO_2$)、クラッドが石英ガラス(SiO_2)により構成され、 Δ はそれぞれ2.2%と2.8%であった。この2本の分散補償用光ファイバの特性を表1に示す。なお、以下、 Δ が2.2%のものをMF 1、 Δ が2.8%のものをMF 2と呼ぶ。

【0017】

【表1】

7

8

	MF 1	MF 2
Δ (%)	2. 2	2. 8
カットオフ波長 (μm)	0. 7 8	0. 7 5
分散値 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)	- 7 0	- 9 0
伝送損失値 (dB/km)	0. 3 5	0. 5 5
FOM値 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$)	2 0 0	1 6 5

※なお、分散値、伝送損失値、FOM値はいずれも $1. 55 \mu\text{m}$ における値である。

【0018】MF 1 及び MF 2 を巻き幅 25 mm 、胴径がそれぞれ 30 mm 、 80 mm である 2 種類のリールに巻き、伝送損失値と FOM 値を測定した。MF 1 を胴径が 30 mm のリールに巻いた場合には伝送損失値が増加して $0. 70 \text{ dB}/\text{km}$ より大きくなり、また FOM 値は $100 \text{ ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 未満となったが、胴径 80 mm のリールに巻いた場合には表 1 の値から変化はなかった。なお、MF 2 は胴径 30 mm 、 80 mm のいずれのリールに巻いた場合にも伝送損失値に変化はなかった。ここで、総補償分散量が $400 \text{ ps}/\text{nm}$ のモジュールを作成するに際し、上記 2 種の分散補償用光ファイバを単独でモジュール化すると、MF 2 は Δ が大きく曲げに強いため MF 2 をリールに巻き終えた外径（以下、巻き終わり径という）を 140 mm と比較的小型にすることができたが、MF 1 は Δ が小さく曲げに弱いため、MF 1 の巻き終わり径は 175 mm であり、それ以上小さくすることはできなかった。

【0019】そこで、モジュール化される分散補償用光ファイバのうち、全長の 25% を MF 2、残りの 75% を MF 1 とし、胴径 30 mm のリールに MF 2 を巻いた後に、巻き終わり端に MF 1 を融着接続し、MF 1 を MF 2 上に上巻きしてモジュールを作成した。できあがったモジュールは FOM 値が $190 \text{ ps}/\text{nm}/\text{dB}$ 、巻き終わり径を 155 mm に抑制することができた。これは分散補償用光ファイバの必要長はそれぞれが有する分散値に依存するため、大きな負の分散を有する（＝負の分散を有し、かつその分散の絶対値が大きい）分散補償用光ファイバ、すなわち MF 2 は短尺で大きな分散を得ることができること、またこの MF 2 は Δ が大きく曲げに強いため、巻き始め径、すなわち胴径を 30 mm とすることができたことにより達成された。

【0020】（実施例 2）W 型の分散補償用光ファイバを組み合わせた実施例に付き説明する。図 2 に示すような W 型の屈折率分布の分散補償用光ファイバ、すなわち中心部から順に高屈折率の第 1 コア層、低屈折率の第

コア層、第 1 コア層と第 2 コア層の中間の屈折率のクラッド層を有する分散補償用光ファイバの場合は、低屈折率の第 2 コア層の寄与により大きな構造分散を発現する反面、伝送損失増が生じやすい欠点がある。この分散補償用光ファイバの FOM 値を大きくするには、分散の絶対値を大きくしかつ伝送損失を小さくすることが要求される。分散値は第 1 コア層と第 2 コア層の屈折率比（以下、 $R\Delta$ という）、第 1 コア層と第 2 コア層のコア径比（以下、 Ra という）、コア径（第 2 コア層の外径）などに依存する。 $R\Delta$ を大きく取ると分散の絶対値も大きくなるが、同時に曲げ損失が生じ易い。これを防ぐには第 1 コア層のクラッドに対する比屈折率差（ Δ^* ）を大きくすればよいが、 Δ^* を大きくするにはゲルマニウムを大量に添加しなければならず、伝送損失値が悪化してしまう。分散値はコア径にも依存し、 $R\Delta$ と Ra が一定の場合にはコア径が小さいほど分散の絶対値が大きくなる。しかしながら、この場合には曲げによる伝送損失が生じやすくなる。そこで、分散の絶対値を大きくし伝送損失値を悪化させない分散補償用光ファイバを得るためには、 $R\Delta$ とコア径を最適化した上で Δ^* を適度に抑制する必要がある。

【0021】そこで、これらの値を適宜変化させて最適な構造について検討した。検討方法としては、 $R\Delta$ が $5. 5$ となるように、第 2 コア層のクラッドに対する比屈折率差（以下、 Δ^- という）を調整しながら、第 1 コア層のクラッドに対する比屈折率差（以下、 Δ^+ という）を変化させて伝送損失と分散値を評価した。この際、コア径は第 1 コア層のコア径（以下、 d_1 という） $2. 0 \sim 2. 5 \mu\text{m}$ 、 Ra $2 \sim 4$ の範囲で変化させて最適値を取った。その評価結果を図 3 に示す。

【0022】図 3 に示すように、分散の絶対値は Δ^+ の増加に伴って大きくなったが、伝送損失値は Δ^+ が $2. 1\%$ 未満または $2. 7\%$ よりも大きいと伝送損失値が急激に大きくなった。これは、 Δ^+ が $2. 1\%$ 未満では光パワーが伝搬する条件を満たす部分が狭くなるためにコ

ア径とRaの最適化が不可能であったためであり、 Δ^+ が2.7%よりも大きいと伝送損失が急激に大きくなるのはゲルマニウムの高濃度添加のためである。なお、 Δ^+ が2.1%以上2.7%以下の範囲でのFOM値はおよそ220~240 ps/nm/dBであった。また Δ^- が-0.5%未満では曲げによる伝送損失増が発生して伝送損失が1 dB/kmまで悪化してしまい、 Δ^- が-0.3%より大きいと十分なR Δ が取れずに分散の絶対値が小さくなってしまったため、ともにFOM値が小さくなってしまった。よって、この構造の光ファイバ型分散補償器における分散補償用光ファイバは第1コア層のクラッド層に対する比屈折率差 Δ^+ を2.1%以上2.7%以下とし、かつ第2コア層のクラッド層に対する比屈折率差 Δ^- を-0.5%以上-0.3%以下とするこ*

*とにより優れた光ファイバ型分散補償器を提供することができる。

【0023】具体例を以下に示す。W型の分散補償用光ファイバを2本組み合わせた場合を例にとりて説明する。ここで用いた2本のW型の分散補償用光ファイバは、第1コア層がゲルマニウムを添加した石英ガラス($\text{SiO}_2-\text{GeO}_2$)、第2コア層がフッ素を添加した石英ガラス(SiO_2-F)、クラッドが石英ガラス(SiO_2)により構成され、 Δ^+ はそれぞれ2.2%と2.8%であった。この2本の分散補償用光ファイバの特性を表2に示す。なお、以下、 Δ^+ が2.2%のものをDF1、 Δ^+ が2.8%のものをDF2と呼ぶ。

【0024】

【表2】

	DF1	DF2
Δ^+ (%)	2.2	2.8
カットオフ波長 (μm)	0.79	0.77
分散値 (ps/nm/km)	-110	-155
伝送損失値 (dB/km)	0.46	0.90
FOM値 (ps/nm/dB)	240	170

※なお、分散値、伝送損失値、FOM値はいずれも1.55 μm における値である。

【0025】DF1及びDF2を巻き幅25mm、胴径がそれぞれ30mm、80mmである2種類のリールに巻き、伝送損失値とFOM値を測定した。DF1を胴径が30mmのリールに巻いた場合には伝送損失値が増加して0.70 dB/kmより大きくなり、またFOM値は150 ps/nm/dB未満となったが、胴径80mmのリールに巻いた場合には表2の値から変化はなかった。なお、DF2は胴径30mm、80mmのいずれのリールに巻いた場合にも伝送損失値に変化はなかった。ここで、総補償分散量が400 ps/nmのモジュールを作成するに際し、上記2種の分散補償用光ファイバを単独でモジュール化すると、DF2は Δ^+ が大きく曲げに強いためDF2の巻き終わり径を110mmと比較的小型にすることができたが、DF1は Δ^+ が小さく曲げに弱いため、MF1の巻き終わり径は150mmであり、それ以上小さくすることはできなかった。

【0026】そこで、モジュール化される分散補償用光ファイバのうち、全長の25%をDF2、残りの75%をDF1とし、胴径30mmのリールにDF2を巻いた後に、巻き終わり端にDF1を融着接続し、DF1をDF2上に上巻きしてモジュールを作成した。できあがっ

たモジュールはFOM値が220 ps/nm/dB、巻き終わり径は125mmに抑制することができた。これは分散補償用光ファイバの必要長はそれぞれが有する分散値に依存するため、大きい負の分散値を有する(=負の分散を有し、かつ分散の絶対値が大きい)分散補償用光ファイバ、すなわちDF2は短尺で大きな分散を得ることができること、またこのDF2は Δ^+ が大きく曲げに強いため、巻き始め径、すなわち胴径を30mmとすることができたことにより達成された。

【0027】(実施例3) W型の分散補償用光ファイバであって、分散勾配補償型の分散補償用光ファイバと高分散型の分散補償用光ファイバを組み合わせた実施例について説明する。分散を平坦に補償する負分散勾配型の分散補償用光ファイバとしては、特願平7-79719号に記載されているように、 Δ^+ が1.6%~2.1%、 Δ^- が-0.6%~-0.45%の屈折率分布を有する構造のものがもっとも適切に勾配補償を行うことができる。そこで、本実施例においては Δ^+ が2.0%、 Δ^- が-0.55%、Raが2.5となる分散補償用光ファイバ(以下、DC1という)を作製した。また、さらに Δ^+ を大きくしてFOM値が大きく、曲げに対する

伝送損失に強い分散補償用光ファイバ（以下、DC 2 という）を作製した。この 2 本の分散補償用光ファイバの特性を表 3 に示す。

*【0028】

【表 3】

*

	DC 1	DC 2
Δ^+ (%)	2. 0	2. 5
Δ^- (%)	-0. 5 5	-0. 4 4
カットオフ波長 (μm)	0. 7 8	0. 7 6
分散値 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)	-9 0	-1 3 0
伝送損失値 (dB/km)	0. 6 0	0. 5 0
FOM 値 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$)	1 5 0	2 6 0
分散勾配 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	-0. 3 5	-0. 0 5

※なお、分散値、伝送損失値、FOM 値はいずれも $1. 5 5 \mu\text{m}$ における値である。

【0029】DC 1 と DC 2 を組み合わせた場合の特性を図 4 に示す。DC 1 が長くなると FOM 値が低下する反面、単一モード光ファイバを組み合わせると $1. 5 5 \mu\text{m}$ での分散を補償した際の分散勾配は小さくなる。DC 1 単独では過補償となっており、全勾配が負になっている。モジュール化される分散補償用光ファイバのうち、全長の約 5 % の長さを DC 2 と全長の約 9 5 % の DC 1 を組み合わせると分散勾配は零になる。これは構造の異なる分散補償用光ファイバを組み合わせる効果の一つである。全勾配値をどこまで許容するかはシステムに依存するが、例えば、 $0. 0 1 \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ まで許容する場合には、全長の約 2 5 % までの長さの DC 2 を組み合わせることができ、この場合、FOM 値は $1 7 0 \text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ まで改善することができる。しかも、DC 2 は DC 1 に比べて分散の絶対値が大きいのでモジュール化される分散補償用光ファイバの長さを短尺化することができ、かつ曲げによる伝送損失増も小さいのでよりコンパクトな収納が可能となる。

【0030】次に巻き方について説明する。図 5 に曲げに弱い分散補償用光ファイバ 1 と曲げに強い分散補償用光ファイバ 2 をモジュール化した例を示す。図 5 (a) は、一般的な形状のリール 1 5 (胴径 6 5 mm、巻き幅 2 5 mm、) に曲げに対して強い分散補償用光ファイバ 2 を内側に、曲げに対して弱い分散補償用光ファイバ 1 を外側に巻回したものである。なお、分散補償用光ファイバ 1 と分散補償用光ファイバ 2 は融着接続されている。例えば、分散補償用光ファイバ 2 として実施例 3 の DC 1 を、分散補償用光ファイバ 1 として実施例 3 の

DC 2 を用いて総補償分散量 $7 0 0 \text{ps}/\text{nm}$ のモジュールを作製する際に、分散補償用光ファイバ 2 を 7 5 %、分散補償用光ファイバ 1 を 2 5 % となるように組み合わせると、分散補償用光ファイバ 2 の長さは 5. 8 3 km、分散補償用光ファイバ 1 の長さは 1. 3 5 km となる。この場合には巻き終わり径を 1 8 5 mm とすることができ、DC 1 のみを巻回したモジュールの巻き終わり径 2 0 5 mm (曲げに対する伝送損失の関係から胴径 1 0 0 mm のリールに巻回した) の約 9 0 % の外径とすることができた。これは分散補償用光ファイバの必要長はそれぞれが有する分散値に依存するため、大きな負の分散値を有する (= 負の分散を有し、かつ分散の絶対値が大きい) 分散補償用光ファイバ、すなわち DC 2 は短尺で大きな分散を得ることができ、またこの DC 2 は Δ^+ が大きく曲げに強いので、巻き始め径、すなわち胴径を 6 5 mm とすることができたことにより達成された。なお、この時、伝送損失劣化は生じず、FOM 値も $1 6 5 \text{ps}/\text{nm}/\text{dB}$ と計算で求めた値とほぼ一致した。

【0031】図 5 (b) は、胴径の異なる 2 つのリール 1 6、1 7 に分散補償用光ファイバ 1、2 をそれぞれ巻回したものである。例えば、分散補償用光ファイバ 1 を胴径 1 0 0 mm の、鏝径 2 0 5 mm、巻き幅 1 9 mm のリール 1 6 に巻き、分散補償用光ファイバ 2 を胴径 6 5 mm、鏝径 2 0 5 mm、巻き幅 3. 5 mm のリール 1 7 にそれぞれ巻回している。これらのリール 1 6 とリール 1 7 を鏝面で張り合わせて、総補償分散量 $7 0 0 \text{ps}/\text{nm}$ のモジュールとなるようにリール 1 6 に実施例 3 の

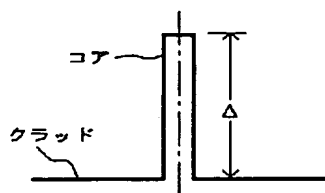
13

DC1を5.83km、リール17に実施例3のDC2を1.35km巻回すると、DC1のみでモジュールを巻回した場合の巻き幅の約90%の巻き幅することができた。さらに分散補償用光ファイバ1と分散補償用光ファイバ2をそれぞれ別に巻回するのでファイバ接続をリール巻きの途中で実施する必要がないため、作業効率も改善された。

【0032】図5(c)は、特に微量の分散補償用光ファイバにて、特性調整をする際に有効な例である。例えば、95%の分散補償用光ファイバ1と5%の分散補償用光ファイバ2を組み合わせる場合などに有効な例であって、胴径の異なる2つのリール18、19の片方の鍔面が同一平面上に存在するように一体化され、分散補償用光ファイバ1、2をそれぞれ巻回したものである。ここで、リール18は胴径65mm、一体化されていない側の鍔径75mm、巻き幅25mmであり、リール19は胴径100mm、一体化されていない側の鍔径200mm、巻き幅25mmである。総補償分散量700ps/nmのモジュールとなるように、リール19に実施例3のDC1を7.39km、リール18に実施例3のDC2を0.27km巻回すると、非常に小型なモジュールを作製することができた。

【0033】なお、本発明の実施の形態ではいずれも2本の分散補償用光ファイバを組み合わせた例を示したが、本願発明において組み合わせられる分散補償用光ファイバは2本に限られるものではなく、3本以上であってもよい。また、分散補償用光ファイバの組合せも本発明の実施の形態に示された例に限られない。

【図1】



14

【0034】

【発明の効果】以上詳述したように、1.3μm帯零分散単一モード光ファイバを伝送路とした光通信網において、長距離、高速、広帯域光伝送を可能とするように特性改善がなされ、かつ小型化が可能な光ファイバ型分散補償器を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る光ファイバ型分散補償器に用いる分散補償用光ファイバの一実施の形態であるマッチド型の分散補償用光ファイバの屈折率分布を示す概略図である。

【図2】本発明に係る光ファイバ型分散補償器に用いる分散補償用光ファイバの一実施の形態であるW型の分散補償用光ファイバの屈折率分布を示す概略図である。

【図3】本発明に係る光ファイバ型分散補償器に用いる分散補償用光ファイバの一実施の形態であるW型の分散補償用光ファイバの特性を示す概略図である。

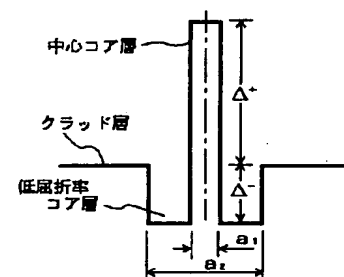
【図4】本発明に係る光ファイバ型分散補償器に用いるモジュールの一実施の形態である分散平坦補償型ファイバと高負分散補償ファイバを組合せ際の特性を示す概略図である。

【図5】本発明に係る光ファイバ型分散補償器における分散補償用光ファイバの巻き方の実施の形態を示す概略図である。

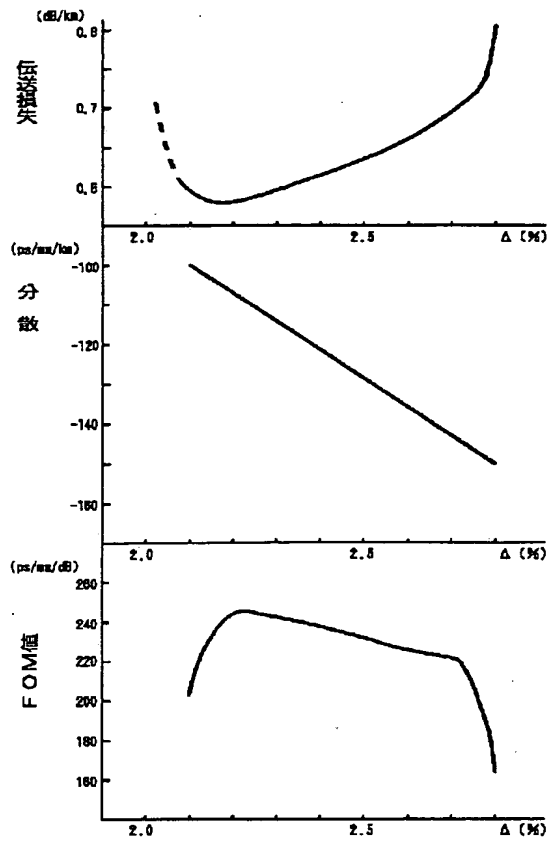
【符号の説明】

- 1、2 分散補償用光ファイバ
15、16、17、18、19 リール

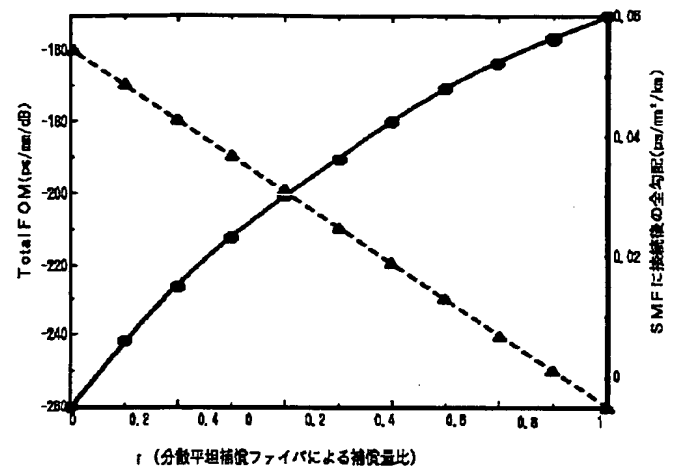
【図2】



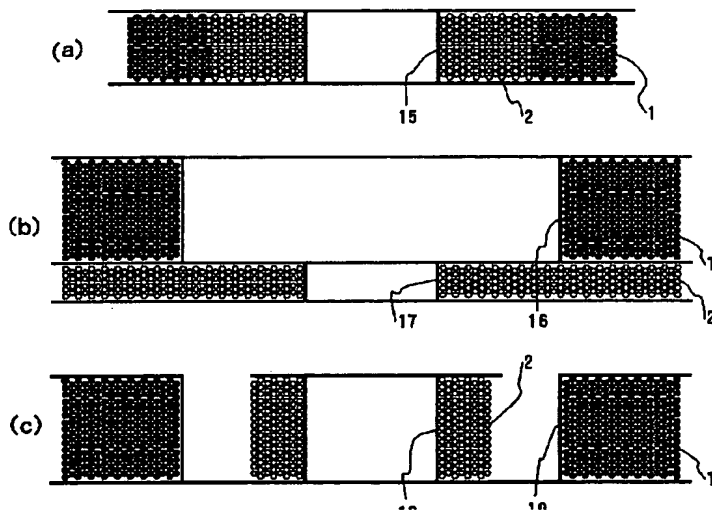
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【手続補正書】

【提出日】平成 9 年 7 月 2 5 日

【手続補正 1】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 5

【補正方法】変更

【補正内容】

【図 5】

